

Influence de la hauteur hmF2 sur la fréquence critique des ondes radio à l'aide du modèle IRI 2016

Amadou Ousseini KOTIA^{3*}, Moustapha KONATE^{2, 3}, Emmanuel NANEMA^{1, 3}

RESUME

Le plasma ionosphérique possède la propriété de réfracter ou de réfléchir les ondes radio en fonction de leur fréquence pour la couche F2. Cette propriété de couche réfléchissante de l'ionosphère est employée dans les télécommunications pour la transmission des ondes radioélectriques. Des modèles d'approche de l'ionosphère ont été développés pour une investigation approfondie de l'ionosphère. Certains modèles permettent la reproduction des caractéristiques de l'ionosphère. Dans ce travail, une étude de la variabilité de la hauteur hmF2 et foF2 dans l'ionosphère est présentée à l'aide du modèle IRI (International Reference Ionosphere). Dans cette étude le modèle IRI sous sa version 2016 est utilisé de l'investigation de la couche ionosphérique. L'étude porte sur l'influence de la hauteur hmF2, sur la fréquence critique foF2 de la sous couche F2 à la station de Ouagadougou au cours du maximum et du minimum de phase de cycle solaire 22. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la hauteur hmF2 sur la fréquence critique foF2 de la sous couche F2 de l'ionosphère. Enfin l'étude montre que la fréquence critique foF2 suit la variation de la hauteur hmF2 de couche F2 tant au niveau du maximum qu'au minimum de la phase du cycle solaire 22.

Mots-clés : Ionosphère, fréquence critique, hauteur, cycle solaire, jour calme, International Reference Ionosphere.

ABSTRACT

Ionospheric plasma has the property of refracting or reflecting radio waves depending on their frequency for the F2 layer. This reflective layer property of the ionosphere is used in telecommunications for the transmission of radio waves. Approach models of the ionosphere have been developed for in-depth study of the ionosphere. Some models make it possible to reproduce the characteristics of the ionosphere. In this work, a study of the variability of hmF2 and foF2 height in the ionosphere is presented using the IRI (International Reference Ionosphere) model. The IRI model in its 2016 version is used to study the ionospheric layer. The study focuses on the influence of the height hmF2 on the critical frequency of the radio waves of the foF2 sublayer at the Ouagadougou station during the maximum phase and minimum phase of the solar cycle 22. The objective of this work is to study the effect of the height hmF2 on the critical frequency foF2. Finally the study shows that the critical frequency foF2 follows the variation of the height hmF2 of the layer F2 as well at the level of the maximum as at the minimum of the phase of the solar cycle 22.

¹Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), 03 BP 7047 Ouagadougou 03, Ouagadougou, Burkina Faso.

² Centre Universitaire de Gaoua / Université Nazi Boni, 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso.

³Laboratoire de Recherche en Energétique et Météorologie de l'Espace (LAREME), Université Norbert ZONGO, BP 376 Koudougou, Burkina Faso.

*Auteur correspondant : Email : amadouousseinikotia@gmail.com, Tel :0022797813684

KEYWORD: Ionosphere, Solar cycle phase, quiet day, International Reference Ionosphere ,critical frequency ,height

Introduction

L'ionosphère est une région de l'atmosphère située entre la mésosphère et la magnétosphère, c'est à dire entre 60 et 800km d'altitude. Cette couche présente une importante particularité dans la transmission des ondes radioélectrique. Cependant de nombreux modèles sont développés pour étudier l'ionosphère. Ce travail est consacré à l'étude de la variabilité de la fréquence critique foF2 et la hauteur hmF2 de l'ionosphère à la station de Ouagadougou, pendant la phase calme du cycle solaire 22. Nous utilisons dans cette étude le modèle IRI International Reference Ionosphere (IRI) est empirique, conçu par une équipe de Chercheurs dans les années 1960 pour la description de l'ionosphère (<http://irimodel.org>). Le modèle utilise comme données sources les relevés fournis par le réseau mondial des ionosondes, des bases de ISIS et Alouette, etc. Pour une position géographique déterminée, le modèle IRI génère les moyennes des paramètres (nous en dénombrons trente-sept) parmi lesquels la densité électronique, la Température des électrons, la composition ionique, TEC, NmF2, etc. en fonction de l'heure et de la date, à une altitude variante entre 50 et 2000 km (Blitz et al., 1993 ; 1996). IRI est un modèle dynamique régulièrement mis à jour suivant une fréquence annuelle (Blitz, 1990, Blitz et al., 1993) par l'équipe de recherche.

Matériels et Méthodes

Dans ce travail nous retenons les cinq jours les plus calmes du mois considéré au minimum et au maximum de cycle solaire 22. Les conditions d'obtention des jours calmes sont définies pour un paramètre $Aa \leq 20$ nT, avec Aa la valeur moyenne journalière de l'indice géomagnétique Aa (Mayaud. 1971, 1972). La détermination de la nature d'une année donnée de la phase d'un cycle solaire (Ouattara et al, 2012) est faite suivant la valeur de la moyenne annuelle de Rz (Rz_{moy}). Ainsi, une année d'une phase du cycle solaire est un minimum si $Rz_{moy} < 2$ tandis que le maximum de phase est défini pour les années dont les valeurs de $Rz_{moy} > 100$.

La station de Ouagadougou est caractérisée par les données suivantes : Latitude = 12.5, Longitude = 358.5, l'investigation à l'aide du modèle IRI a été faite en employant les paramètres suivants pour l'exécution du modèle : pas horaire 1.les valeurs de hmF2 et foF2 recueillies sont exportées dans un fichier Excel pour la détermination des profils de la hauteur et de la fréquence critique.

Le tableau I présente les cinq jours les plus calmes de chaque saison au cours du maximum et du minimum de phase de cycle solaire 22 à la station de Ouagadougou (NANEMA et al.,2018)

Tableau I : jours les plus calmes au maximum et au minimum de phase de cycle solaire

Maximum de phase solaire	Mars	Juin	Septembre	Décembre
Jours	4, 10, 16, 17, 31	16, 17, 20, 21, 30	2, 3, 27, 29, 30	10, 11, 19, 20, 29
Minimum de phase solaire	Mars	Juin	Septembre	Décembre
Jours	9, 13, 21, 22, 25	3, 14, 16, 18, 19	2, 3, 4, 5, 29	8, 9, 21, 23, 29

Les valeurs moyennes mensuelles horaires des paramètres, hmF2 et foF2 sont obtenues par calcul de la valeur moyenne journalière des cinq jours les plus calmes. Nous avons donc, pour

le paramètre hmF2, la valeur moyenne mensuelle horaire est donnée par l'équation III.1 :

$$hmF2_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n hmF2^i}{n} \quad (1)$$

Par analogie, la valeur moyenne mensuelle horaire du paramètre foF2 s'écrira (équation III.2):

$$foF2_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n foF2^i}{n} \quad (1)$$

Dans ces différentes expressions, n désigne le nombre de jours calmes (dans notre cas, $n \leq 5$).

Résultats et discussions

Les figures I.a, I.b, I.c et I.d représentent respectivement les profils de la variation temporelle (en heure locale) de hmF2 et de foF2 au printemps, en été, en automne et en hiver au cours de l'année 1990. Les figures II.a, II.b, II.c et II.d représentent respectivement les profils de la variation temporelle (en heure locale) de hmF2 et de foF2 au printemps, en été, en automne et en hiver au cours de l'année 1985.

Mars 1990 (hmF2, foF2, LT)

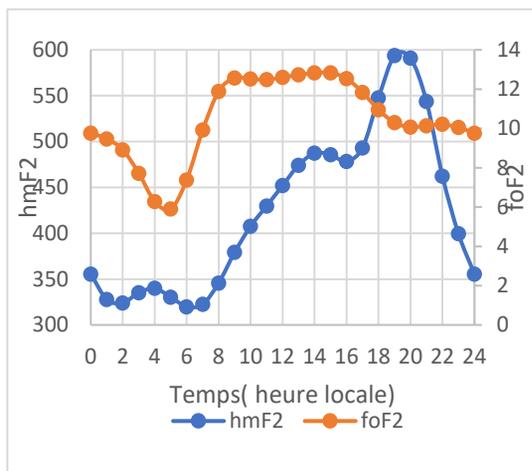


Figure II.a : variation horaire mensuelle de hmF2 et foF2 au printemps 85

Juin 1990 (hmF2, foF2, LT)

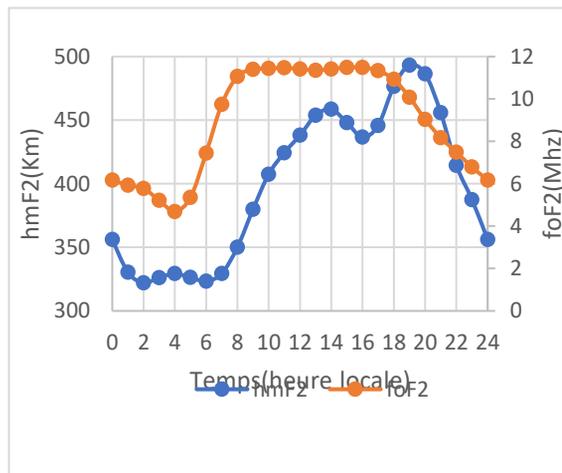


Figure II.b : variation horaire mensuelle de hmF2 de foF2 à l'été 85

Septembre 1990 (hmF2, foF2, LT)

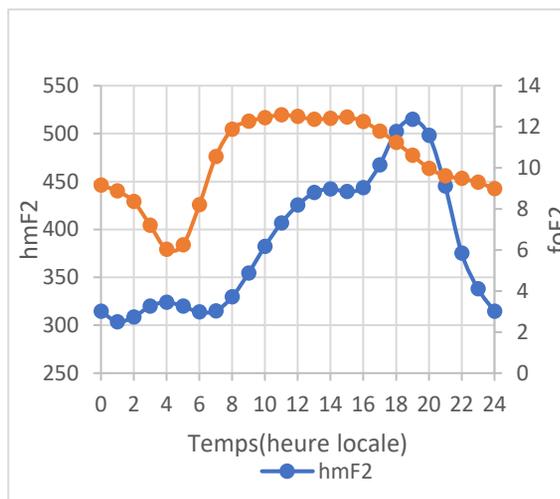


Figure II.c : variation horaire mensuelle de hmF2 et foF2 à l'automne 85

Décembre 1990 (hmF2, foF2, LT)

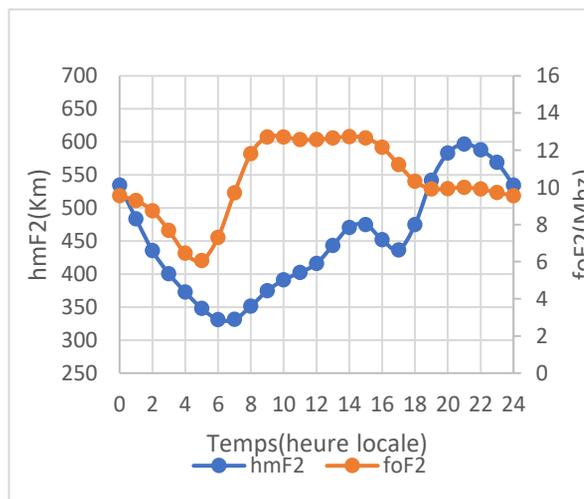


Figure II.d : variation horaire mensuelle de hmF2 et foF2 à l'hiver 85

Mars 1985 (hmF2, foF2, LT)

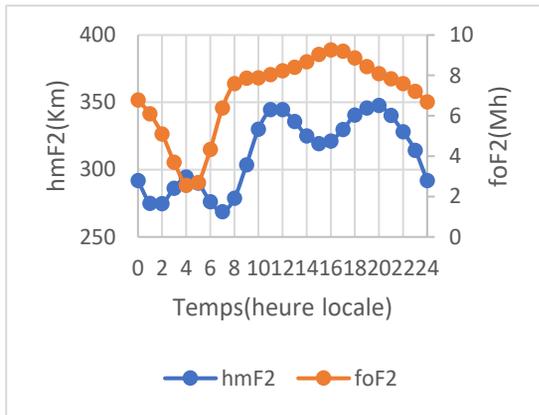


Figure II.a : variation horaire mensuelle de hmF2 et foF2 au printemps 85

Juin 1985 (hmF2, foF2, LT)

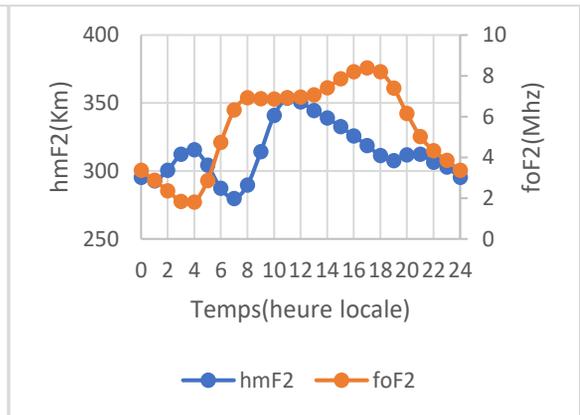


Figure II.b : variation horaire mensuelle de hmF2 de foF2 à l'été 85

Septembre 1985 (hmF2, foF2, LT)

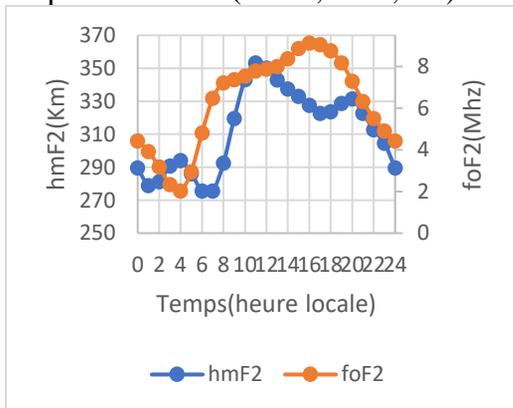


Figure II.c : variation horaire mensuelle de hmF2 et foF2 à l'automne 85

Décembre 1985 (hmF2,foF2,LT)

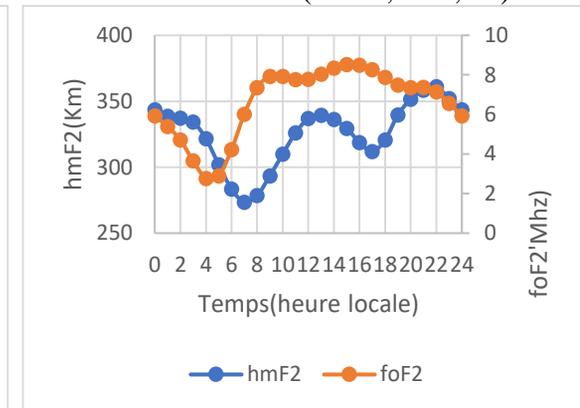


Figure II.d : variation horaire mensuelle de hmF2 et foF2 à l'hiver 85

La figure I illustre la variation de la fréquence critique foF2 et de hauteur hmF2 de la couche ionosphérique au cours du maximum de cycle de phase solaire 22. Ainsi L'observation de ces profils montre que la fréquence critique foF2 décroît (de 0h à 5h et de 15h à 24h) et la hauteur hmF2 (de 0h à 6h et de 19h à 24h). foF2 et hmF2 présentent toujours la même variation :foF2 et hmF2 diminuent avant le lever du soleil ,foF2 atteint un minimum à 5h00 et hmF2 à 6h00 ensuite les deux paramètres diminuent la nuit ; les deux profils hmF2 et foF2 augmentent pour atteindre respectivement un maximum à 20h et à 15h .

Pour le mois de décembre le maximum est atteint à 22h. Cette valeur maximale apparaît anormale car l'hiver est une période caractérisée par des temps froids, d'où une faible

ionisation de la couche ionosphérique, caractéristique d'une faible irradiation solaire pendant cette période. Ce phénomène s'apparente à une « anomalie d'hiver » (Nanema 2016).

Pour la figure II on observe aussi une variation similaire entre le profil de la fréquence critique foF2 et le profil de la hauteur hmF2.

Les valeurs minimales et maximales de la hauteur et de la Fréquence de la région F2 de l'ionosphère obtenues suivant le modèle IRI pendant le maximum et le minimum de phase de cycle solaire 22 sont indiquées dans le tableau II.2.

	f_oF2_{min} (MHz)	Heure locale (h)	f_oF2_{max} (MHz)	Heure locale (h)	$hmF2_{min}$ (km)	Heure locale (h)	$hmF2_{max}$ (km)	Heure locale (h)
Mars 90	5.91	5	12.84	15	319.9	6	593.9	19
Juin 90	4.69	4	11.49	15	323.23	6	493.2	19
Septembre 90	6.03	4	12.47	15	313.7	6	514.7	19
Décembre 90	6.06	5	12.73	14	331	6	597	21
Mars 85	2.55	4	9.27	16	268.7	7	247.6	20
Juin 85	1.81	4	8.38	17	279.8	7	353.7	11
Septembre 85	2.03	4	9.13	16	275.6	7	353.2	11
Décembre 85	2.76	4	8.52	15	273.5	7	358.5	21

Ce tableau montre que, les valeurs d'hiver sont plus élevées que celles d'été au maximum de phase du cycle solaire 22. Ce type de variation a déjà été observée par Nanema (2016), et constitue l'anomalie d'hiver.

Conclusion

Dans ce travail, l'effet de la hauteur hmF2 sur la fréquence critique des ondes radio a été étudié pour les jours les plus calmes au maximum et minimum de phase du cycle solaire 22 à la station de Ouagadougou. L'étude a permis de tracer les profils de ces paramètres. L'étude a montré que la fréquence critique foF2 suit la variation de la hauteur hmF2. Cette étude nous a également permis de mettre en évidence le phénomène de « l'anomalie d'hiver » qui ont déjà été mis en évidence par d'autres auteurs.

Références bibliographiques

NANEMA E. "Modélisation de NmF2, foF2 et hmF2 à la station de Ouagadougou au cours du cycle solaire 22 par TIEGCM 1.94 et appréciation de leurs prédictions". Thèse de doctorat unique, Université de Ouagadougou, 2016.

Gnabahou A. D., "Variabilité et variation à long terme de l'ionosphère en région équatoriale africaine", Thèse de doctorat unique, Université de Ouagadougou, 2013

Konaté.M.,Nanema.,E.,Ouattara.,F."Variabilité du pic de la densité des électrons dans l'ionosphère au maximum de phase du cycle solaire ". vol.38.n°1 -janvier-juin 2019 science et technique, sciences naturelles et appliquées.

Ouattara, F., Nanéma, E. (2014) Quiet time foF2 variation at Ouagadougou station and comparison with TIEGCM and IRI-2012 predictions for 1985 and 1990, Physical Science International Journal, 4 (6), 892-902.

Ouattara, F., Nanéma, E. (2014) Quiet time foF2 variation at Ouagadougou station and comparison with TIEGCM and IRI-2012 predictions for 1985 and 1990. Physical Science International Journal, 4(6), 892-902.

Nanéma, E., Konaté., M., Gnabahou D.A and Ouattara, F: "Effects of Height of F2-Layer on Critical Frequency by Use of Data at Ouagadougou Station" Applied Physics Research, Vol 10, n°5, 2018.

Nanéma, E., Zerbo, Kotia,A., Ouattara, F. Kaboré,M.' critical frequency quiet time variability at different heights using Thermosphere-Electrodynamics General Circulation Model at low latitudes" Journal of Scientific and Engineering Research, 2020, 7(3) : 166- 171.

Nanéma, E., Konaté., M., and Ouattara, F.," Peak of Electron Density in F2-Layer Parameters Variability at Quiet Days on Solar Minimum." Journal of Modern Physics, 2019, 10, 302-309.